

Research Paper

## 사분면 분석기법을 활용한 교육시설 균열하자 발생 원인 및 예방효과 분석

# Analysis of Factors and Preventive Effects of Crack in Educational Facilities Using Quadrant Analysis Techniques

박현정<sup>1</sup> · 김문식<sup>2</sup> · 김형우<sup>3</sup> · 김대영<sup>4\*</sup>

Park, Hyun Jung<sup>1</sup> · Kim, Moon Sik<sup>2</sup> · Kim, Hyoung Woo<sup>3</sup> · Kim, Dae Young<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>Professor, Department of Architectural Engineering, Silla University, Sasang-Gu, Busan, 46958, Korea

<sup>2</sup>Master's Course, Graduate School, Pusan National University, Geumjung-Gu, Busan, 46241, Korea

<sup>3</sup>Researcher, Department of Architectural Engineering, Pusan National University, Geumjung-Gu, Busan, 46241, Korea

<sup>4</sup>Professor, Department of Architectural Engineering, Pusan National University, Geumjung-Gu, Busan, 46241, Korea

\*Corresponding author

Kim, Dae Young  
Tel : 82-51-510-7609  
E-mail : dykim2017@pusan.ac.kr

ABSTRACT

Since 2007, the government has been actively working to enhance the quality of public buildings, as evidenced by initiatives like the "National Basic Architecture Plan" and, since 2014, the "Building Service Industry Promotion Act." Despite these efforts, educational facilities continue to experience more frequent defects compared to large-scale apartment constructions. This study aims to analyze the primary causes of crack formation in educational facilities, employing the 2×2 MATRIX and IPA techniques to develop efficient crack prediction models. The research includes a review of relevant literature and an analysis of data from the Office of Education spanning 2019 to 2021 to pinpoint significant defects. Subsequently, 15 factors related to crack defects were identified through surveys and expert consultations. The 2×2 Matrix analysis of these factors highlighted the challenges in work processes and the effectiveness of preventative measures for crack formation, focusing on key areas for improvement. The findings from this study are anticipated to significantly contribute to the prevention and management of structural cracks in educational facilities, ensuring their long-term integrity.

Keywords : education facilities, crack defect, 2×2 matrix, quadrant analysis

Received : November 1, 2023

Revised : November 9, 2023

Accepted : November 14, 2023

## 1. 서론

### 1.1 연구의 목적

정부에서는 2007년부터 지속적으로 시행 중인 국가건축기본계획과 2014년도부터 시행된 건축서비스산업 진흥법을 통해 공공건축물의 품질 향상을 추진하고 있다. 이러한 기초에 교육시설은 공공건축물 전체 연면적의 28% 이상으로 가장 많은 연면적을 보유하고 있어 공공건축물 품질 향상을 위해서는 교육시설물의 품질관리는 필수적인 요소로 볼 수 있다. 국내 초·중·고등학교의 수는 '22년 63개교 증가, 23년 17개교 증가로 지속적인 증가추세를 보이고 있다[1]. 또한, 교육시설은 학생들이 가장 많은 시간을 보내는 공간으로, 안전하고 쾌적한 공간을 유지해야 한다. 다양한 연령대의 학생이 이용하는 교육 시설 특성상, 예방 보전 차원에서 일상 점검과 하자의 조기발견 또는 하자 수선 업무가 반드시 수행되어야 하지만 현 교육 시설 하자관리는 학교 자체적으로 진행되고 있어 중요도에 비해 하자에 대한 관리방안이 상당히 부족한 실정이다. 이에 교육 시설에 대한 국가안전대진단 결과, '20년 6,898건, '21년 7,702건으로 교육시설 내 하자가 지속적으로 발생하고 있으며[2],



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

매년 시설물 보수·보강에 수많은 예산이 투입되고 있다. 건축물에서 발생하는 하자의 가장 큰 원인은 콘크리트의 균열로 인한 것이다. 콘크리트의 균열로 인해 미장, 표면 박리 등의 시각적인 사용상의 하자가 발생하고 또한 누수로 이어져 곰팡이 등의 위생적 문제를 초래한다.

그럼에도 공동주택 하자 관리방안에 관한 연구 대비 공공기관 하자 관련 연구는 아직 미비한 실정이다. 특히 초·중·고 교육시설로 대표되는 교육시설의 공사는 대부분이 교육시설보급 정책방침에 따라 시행된 BTL방식으로 발주, 시공되고 있어 대부분 대기업보다는 중견 건설업체가 참여하고 있다[3], 중견업체는 전문 인력 부족, 시공 경험 부족과 노하우 부족, 하자 보수 미흡 등의 문제점을 가지고 있어, 대규모 공동주택 공사에 비해 교육시설의 하자 발생 빈도가 높다[3]. 교육시설의 품질 향상과 이용자들의 쾌적한 실내환경 이용을 위해서 건축물에 적합한 시공 및 유지의 관리방법이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 교육시설의 하자 정보를 조사, 분석하여 보다 효율적이고 체계적인 교육시설의 하자관리 및 시설물 유지관리에 기여하고자 한다.

## 1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구를 진행하기 위해 국내 문헌연구를 통해 교육시설 연구 동향을 파악하고 콘크리트 균열하자의 개념 및 분류를 파악하였다. 이어, 교육시설의 하자현황 파악을 위해 2019~2021년 3년간 전국 교육청 17곳, 교육지원청 176곳에서 하자 데이터 1,122건을 수집하였다. 수집한 데이터를 기반으로 콘크리트 균열하자를 분석하여 교육시설에서 발생하는 콘크리트 균열 하자 유형을 도출하고, 분류한 유형을 바탕으로 전문가에게 면담을 실시해 총 15개 항목의 균열하자원인들을 도출하였다. 그 후, 균열하자의 작업난이도 및 예방효과를 파악하기 위해 전문가들에게 5점 척도를 이용한 설문조사를 실시하고 2 by 2 Matrix 분석기법을 활용하여 작업에 따른 예방효과와 난이도를 기준으로 각 하자원인을 사분면별로 분석하였다. 분석결과를 토대로 균열하자관리를 위해 중점적으로 관리해야 할 원인들 파악 및 개선이 필요한 부분을 찾고, 개선 방향을 제시하였다. 연구의 흐름은 Figure 1과 같다.

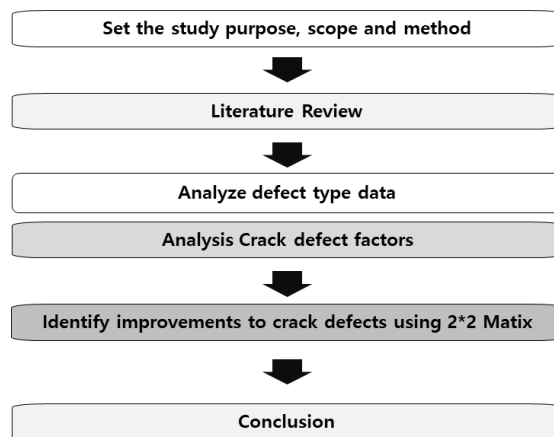


Figure 1. Research methodology

## 2. 이론적 고찰

### 2.1 교육시설의 정의

교육시설은 국내 법령 ‘교육시설 등의 안전 및 유지관리 등에 관한 법률’ 중 제 2조 1항에 의해 정의된다. 교육시설은 「유

아교육법」 제2조제2호에 따른 유치원, 「초·중등교육법」 제2조에 따른 학교, 「고등교육법」 제2조에 따른 학교, 「평생교육법」 제31조제2항 및 제4항에 따른 학력·학위가 인정되는 평생교육시설, 다른 법률에 따라 설치된 각급 학교 그리고 그 밖에 대통령령으로 정하는 교육관련 시설로 정의하고 있다.

## 2.2 하자의 정의 및 범위

하자의 사전적 정의는 법률 또는 당사자가 예상하는 정상적인 상태를 충족하지 못하는 흠이나 결함이 있는 경우를 의미하며 하자가 있는 경우에는 법률행위가 취소 또는 무효 되거나 어떤 권리의 발생이 저지되는 등 법률에서 정하는 바에 따라 다양한 효과가 적용된다. 이 중 대법원에서 규정하고 있는 건축물에서의 하자라고 함은 일반적으로 완성된 건축물에 공사계약에서 정한 내용과 다른 구조적·기능적 결함이 있거나, 거래관념상 통상 갖추어야 할 품질을 제대로 갖추고 있지 아니한 것을 말한다. 이러한 하자는 설계 및 시공 오류에 의한 하자, 자재 불량으로 인한 하자, 고급 인력의 부족으로 인한 시공하자, 시공 후 유지관리의 결함으로 인한 하자 등 다양한 유형으로 정의될 수 있다. 교육시설물에 대한 하자의 범위는 따로 규정되어 있는 것이 없으므로 교육시설 하자에 관한 연구에서 공통적으로 언급하고 있는 내용을 기반으로 설정하였다. 하자의 범위는 크게 구조적 결함, 차단적 결함, 클레임으로 구분할 수 있다. 구조적 결함이란 건축물이 갖추어야 할 가장 근원적인 성능에 대한 하자를 의미하며 차단적 결함은 차음성능이나, 단열성능, 구조적 문제가 없는 내 외벽의 문제나 창호의 불량이나 오염 등을 의미한다. 가장 큰 범주의 클레임은 시설 이용자가 주관적으로 느끼는 하자를 의미한다. 위의 특성을 반영하여 일반적으로 법적이거나 기술적인 측면에서 하자는 클레임 이전까지의 영역을 의미한다.

## 2.3 선행 문헌 고찰

우리나라의 하자 연구는 1990년도부터 활발히 진행되었으며, 특히 공동주택 하자 관련 연구는 하자에 대한 분류 및 관리, 대응 및 방지대책까지 전 과정에 걸쳐 상당한 수준이다. 하지만 교육시설물의 경우 시설관리에 대한 연구는 진행되고 있지만 하자 관리에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 이에 관한 연구 현황은 Table 1과 같다.

Ryu and Park[3]는 확대되고 있는 BTL 사업부문의 급변하는 사업여건에 유연하게 대처하고 품질 수준을 높이기 위해서는 건설현장의 품질결함에 대한 전반적인 분석을 통해 효과적인 품질관리 체계를 재정비하기 위해 품질결함에 대해 조사하였다. 위 연구로 교육시설 유지관리의 문제점과 건설현장에서의 품질향상방안을 파악하였다. Lee et al.[4]은 학교시설물의 유지관리 실태를 조사·분석하여 문제점을 도출하고, 효율적인 학교시설물 유지관리를 위한 지원체계를 모색하였다. Park et al.[5]은 경기도 소재의 2,561개소의 교육시설물에 대한 안전점검 결과를 토대로 학교시설물의 평가를 분석하고 교육시설물의 유지관리 방안을 제안하였다.

또한, 콘크리트 균열의 선행연구를 고찰하였다. Park et al.[6]은 초고성능 콘크리트의 인장변형 경화거동과 연화거동을 통하여 나타나는 균열거동을 분석하고자 직접인장 실험을 수행하여 균열거동을 파악하였다. Gang and Hong[7]은 콘크리트 균열원인과 완화방법 그리고 보수보강방안을 소개하였다. 콘크리트 단기, 장기 균열이 발생하는 원인에 대한 보강방안에 대한 침언하여 콘크리트 균열을 완화하는 데 도움을 주고자 하였다. Nam[8]은 전문가들의 인터뷰 및 설문조사를 통해 토목공사에서 발생하는 하자의 형태, 보수비용 등을 파악한 후 콘크리트의 균열 발생 원인을 선정하고 FTA기법을 활용하여 토목공사에서 발생하는 하자들의 관리방안을 제시하였다. Kim[9]은 콘크리트 균열이 발생하는 매커니즘과 균열이 발생하는 원인에 대해서 소개하였다. 경화 전의 콘크리트에서 발생하는 균열, 경화 중 콘크리트에서 발생하는 균열을 포함하여 설계, 시공단계에서 발생하는 균열의 원인에 대해 말하였다. Kim et al.[10]은 철근콘크리트 보의 전단실험을 통해 균열의 각도, 크기, 개수, 치명적 균열 등을 파악하여 전단균열예측모델을 확인하였다.

따라서 본 연구는 공공건축물, 특히 교육시설물에 관하여 정량적·정성적 지표를 모두 반영하여 시설·유지 관리 측면뿐 아니라 시공 품질관리 측면 또한 고려한 분석을 진행하고자 한다. 또한, 교육시설의 주된 하자인 균열하자의 유형을 파악하고 유형별 원인에 따른 대책을 제시하고자 한다.

**Table 1.** Review of previous research on educational facilities

Author	Year	Topic	Main issue
Kim JK	1994	Causes of Concrete Cracks	Suggested countermeasures by investigating the cause of defects occurring in the target building
Lee CG	2007	A Study on the Support System for Maintenance Efficiency of Educational Facilities	Investigate and analyze the maintenance status of school facilities to derive problems, and seek a support system for efficient maintenance of school facilities
Nam KS	2007	Fault Tree Analysis-based Risk Management of Defects in Construction	After identifying the shape and repair costs of defects occurring in civil engineering through experts, the cause of cracks in concrete was selected, and measures to manage defects occurring in civil engineering were proposed using FTA techniques.
Ryu JH	2008	Analysis on Quality Defect Status in the Construction Site of Domestic Educational Facilities	In order to flexibly cope with BTL and increase the quality level, quality defects were investigated to reorganize the effective quality management system through an overall analysis of quality defects at construction sites.
Kang HG, Hong SG	2008	Causes and Mitigation of Concrete Cracking	Advice on the Reinforcement Plan for the Cause of Cracks in Short-Term and Long-Term Concrete
Kim KB et al.	2021	Analysis of the Crack Angle of Shear Failure RC Beam	Analyzing the reinforced concrete shear experimental data to identify the angle, size, and fatal cracks of the cracks and confirm the shear crack prediction model.
Park ON et al.	2021	A Study on the Future Maintenance of Educational Facilities According to the Evaluation of Safety Inspection	Analyzing the evaluation of school facilities according to the results of regular safety inspections and proposing a plan for maintenance of educational facilities for future defects depending on the condition of the facilities
Park MK et al.	2022	Experimental Study on Cracking Behavior of Ultra-High Performance Concrete Members	In order to analyze the cracking behavior through tensile strain hardening and softening behavior of ultra-high-performance concrete, a direct tensile test was conducted and the behavior was identified

### 3. 교육시설 하자 데이터 분석

#### 3.1 분석 사례 개요

하자의 정의와 전국 17개시의 교육청, 교육지원청 176곳, 총 193곳에서 하자 및 유지보수 관련 자료를 수집하였으며, 수집한 사례는 2019년~2021년 3년간 학교시설에서 접수된 하자보수요청 자료이다. 해당 데이터는 학교 신축공사, 증축공사, 유지보수공사를 실시한 후 2년 이내에 발생한 하자 유형이다. 데이터를 통해서 하자 발생빈도 및 발생 유형 및 영향을 파악하였으며 조사한 데이터에서 발생빈도가 전체 하자 발생빈도 중 3%(32건)를 초과하는 6개의 하자 유형을 기준으로 하여 발생 하자를 분류하였다. 이에 따라 6개의 하자유형을 제외한 타 하자 유형들은 기타 공사로 분류하였다.

#### 3.2 공사별 하자 빈도 분석

하자는 다양한 원인으로 발생하며, 유형별 특징 또한 다차원적이다. 따라서 하자의 분석을 위해서는 하자 발생 건수나 빈도와 같이 객관적인 자료를 고려한 정량적 평가와 더불어, 하자의 성질이나 작업난이도와 같은 정성적 지표 또한 필수적으

로 평가되어야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 하자의 유형은 사례 데이터 중 유형 및 발생원인이 명시되어 있는 사례를 통해 수집하여 분류하였으며, 사례의 유형이 모호하거나 명시되어 있지 않은 53건의 데이터는 배제하였다. 또한, 사례 데이터를 통한 정량적 분석과 함께 전문가 설문을 통한 정성적 분석 또한 함께 진행하였다. 6개 하자 유형의 데이터 분석결과 발생한 하자 빈도는 균열, 도막 파손, 기능 불량, 탈락, 변형, 파손 순서로 구성되었으며 빈도의 분포는 Figure 2와 같다. 또한, 하자 발생빈도를 살펴보면 균열이 415건(38.82%)으로 가장 많이 발생한 하자 유형으로 분석되었다. 다음으로 도막 파손 130건(12.16%), 기능 불량 89건(8.33%), 탈락 73건(6.83%)을 차지했으며, 변형 49건(4.58%), 파손 48건(4.49%)으로 상대적으로 하자 발생빈도가 낮게 나타났다. 특히, 하자 발생빈도가 가장 높은 균열하자로 인한 영향이 건축물 누수로 이어져, 물 고임, 곰팡이 등 비위생적 요인으로 연결되고 교육시설물 사용에 영향을 미쳐 교육시설 역할 수행에 큰 문제로 이어져 균열하자 방지 및 관리가 필요한 것으로 확인되었다.

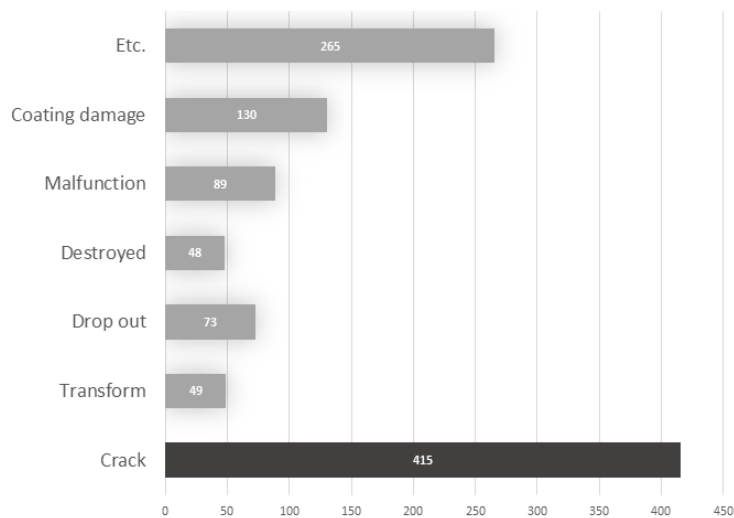


Figure 2. Incidence rate of defects in educational facilities

## 4. 균열하자 분석

### 4.1 시공원인에 의한 균열(A)

시공원인에 의해 발생한 균열하자는 특히 체육관 증축공사, 각 건물간 연결부위의 발생이 대부분이었다. 시공에 의한 발생원인으로는 초기(타설부터 응결까지)에는 급속한 타설, 거푸집의 변형, 동바리의 침하, 급속한 건조, 초기 양생의 불량으로 인해 균열이 발생한다. 중기(24시간부터 4주)에는 양생 불량, 거푸집의 조기 탈형, 동바리의 조기제거·재설치, 재하·진동로 인해 균열이 발생한다. 장기(재령 4주이후)에는 콜드 조인트, 배관의 피복두께 부족, 철근의 피복두께 부족으로 인해 균열이 발생한다[4]. 이에 시공자의 타설시기에 따른 적절한 관리가 필요한 원인이다.

### 4.2 재료원인에 의한 균열(B)

철근콘크리트조에서는 시멘트, 물, 골재를 혼합하는 재료적 특성에 기인하여 균열이 다수 발생한다. 초기(타설부터 응결까지)에는 이상응결성의 시멘트 사용, 단위수량이 많은 콘크리트의 사용에 의한 침하·블리딩, 시멘트 종류에 따른 수축의 차이, 점토분이 많은 골재 사용 등 재료의 사용에 의한 균열이 발생한다. 중기(24시간부터 4주)에는 건조수축으로 인한 균열

이 발생한다. 콘크리트는 수분의 건조에 따라 수축하는 성질을 가지고 있기에 기둥, 벽, 보에 구속되어 있는 콘크리트가 수축을 하며 균열이 발생한다. 장기(재령 4주이후)에는 건조수축, 중성화로 인한 철근의 부식, 반응성 골재 사용으로 인한 Pop out, 강도 부족등으로 인해 균열이 발생한다[4]. 급식실, 체육관, 옥상층에서 다수의 균열이 발생하는 교육시설의 특성을 고려한 재료 사용 또한 필요하다.

#### 4.3 구조원인에 의한 균열(C)

구조원인으로는 구조기능을 발휘할 수 없는 균열인 구조적 균열과 구조물의 안정성 저하 없이 사용성과 내구성의 저하를 초래하는 균열인 비구조적 균열로 구분된다. 구조적 균열로 장기(재령 4주이후)에 설계하중을 초과한 하중의 작용에 의한 균열, 단면 및 철근량 부족에 의한 균열이 발생하며, 비구조적 균열로 장기(재령 4주이후)에 소성균열, 온도수축 균열, 건조수축 균열, 알칼리 골재반응균열이 존재한다[5]. 따라서, 부등침하, 구조계획으로 인한 단면·철근 부족, 모서리 부분 응력 집중, 단면의 경계부, 형상의 복잡함, 신축이음 부적당 위치, 과밀배근, 극단적 철근량 변화로 인한 균열을 주의해야한다.

#### 4.4 환경원인에 의한 균열(D)

철근콘크리트조는 시간이 지남에 따라 노후화, 기상 여건에 영향을 받게 된다. 양생이 완료된 후 초기의 콘크리트는 비교적 안정하나 이러한 환경적 영향에 의한 변화를 인지하고 대비해야 한다. 환경원인으로는 장기(재령 4주이후)에 초과하중 재하, 구조물 온도응력, 옥상 슬래브 신축, 동결융해로 인해 균열이 발생한다[4]. 또한, 건축물의 노후화에 따른 마감 및 방수 손상 발생, 창호 연결부위에서 균열이 다수 발생하기에 이에 대한 대책방안이 필요하다.

### 5. 전문가 설문조사 및 2×2 Matrix 분석

#### 5.1 하자원인 선정

건설업 전문가의 설문 조사를 진행하여 총 32가지의 하자원인 중 작업자, 시공관리자가 균열하자 저감을 위해 작업가능한 15가지 원인을 선정하였다. 선정된 원인으로는 Table 2와 같다. 선정원인으로 시공원인(A)의 급속한 타설(A1), 거푸집의 변형(A2), 양생불량(A3), 동바리의 조기제거·재설치(A4), 재하·진동(A5), 콜드 조인트(A6), 철근의 피복두께 부족(A7), 재료원인(B)의 이상응결성의 시멘트 사용(B8), 단위수량이 많은 콘크리트의 사용에 의한 침하·블리딩(B9), 점토분이 많은 골재 사용 등 재료의 사용(B10), 구조원인(C)의 구조계획으로 인한 단면·철근 부족(C11), 단면의 경계부(C12), 과밀배근(C13), 극단적 철근량 변화(C14), 환경원인(D)의 동결융해(D15)이 선정되었다.

#### 5.2 분석 개요

최종 도출된 Table 2의 15개의 균열하자 원인에 대해 작업이 작업자 및 시공관리자가 느끼는 작업난이도의 분석과, 해당 작업을 통해 균열하자 저감의 측면에서 얼마나 효과적인지 분석하기 위해 건설업 전문가를 대상으로 설문조사 및 면담을 실시하였다. 평가기준은 ‘작업난이도’, ‘작업예방효과’ 총 2가지로 작업난이도는 해당 하자원인을 위해 작업할 때의 난이도를 뜻하며 작업이 어려울수록, 작업비용이 높을수록, 타공정에 미치는 영향이 클수록 높은 가중치를 가진다. 또한, 작업의 예방효과는 해당 작업으로 인해 균열하자 저감에 큰 영향을 미칠수록 높은 가중치를 지닌다.

**Table 2.** Factors identified for crack defects

Classification	Period	Factor
Construction factors	Early	(A1) Rapid concrete pouring (A2) Deformation of a mold
	Middle	(A3) Poor curing (A4) Early removal and reinstallation of Support (A5) Load and Vibration
	Long term	(A6) Cold Joint (A7) Lack of coating thickness of rebar
Material factors	Early	(B8) Use of cement with abnormal condensation (B9) Sedimentation and bleeding by using concrete with a large unit quantity (B10) Use of materials such as aggregate with a lot of clay powder
Structural factors	Long term	(C11) Lack of cross-section and rebar (C12) Boundary of cross-section (C13) Overtight reinforcement (C14) Extreme change in rebar amount
Environment factors	Long term	(D15) Freezing and melting

데이터 수집기간은 2023년 7월 1일부터 31일까지 시공회사, CM 및 건축직 공무원 등 건설업 전문가들을 30명을 대상으로 설문조사를 진행하였으며 응답자 25명의 의견을 수렴하였다. 본 설문에서 균열하자 원인은 작업난이도 및 작업 예방효과 모두 5점 척도를 기준으로 조사하였다. 설문조사의 개요는 Table 3과 같다.

**Table 3.** Summary of survey

Sortation	Build a database
Period	2023.07.01.~2023.07.31.(1 month)
Personnel	number of surveyors: 30 number of respondents: 25
Target	Construction company, CM, Architectural official
Contents	The difficulty and prevention effect of Crack Defators tasks(5 points)
Method	E-mail, Fax survey, Personal visit interview

### 5.3 전문가 의견 중심 2×2 Matrix 분석

앞선 종합 설문조사를 통해 산출된 가중치는 각각이 서로 다른 평가 기준으로 평가되어 있으므로 해석을 원활히 하여 두 가지 지표를 복합적으로 고려하기 위해 2×2 Matrix에 각 원인을 나타내었다. X축 방향은 작업 예방효과(Prevention)를, Y축 방향은 작업난이도(Difficulty)를 나타내며, 각 축은 각 가중치의 기하평균값을 기준선으로 하였다.

1사분면은 균열하자 예방효과가 높고, 작업난이도가 모두 높아 예방효과는 유지하되, 작업난이도는 조절할 필요가 있는 원인들이다. 2사분면에 위치한 균열하자 원인은 다른 하자발생원인에 비해 가장 비효율적인 관리원인이라 할 수 있다. 예방효과가 높은 원인들을 집중 관리할 수 있도록 전담직무를 가진 인원이 집중적으로 관리해야할 원인이다. 3사분면에 위치한 균열하자원인들은 예방효과가 낮지만 작업난이도 또한 낮은 원인들이다. 이러한 원인들은 낮은 작업난이도는 유지하되, 균열하자 예방효과를 높일 수 있는 방안을 강구할 필요가 있다. 4사분면의 균열하자원인은 작업난이도는 낮지만 균열예방효과는 우수한 관리원인이다. 가장 효율적인 관리원인이며, 이는 현 수준을 유지하며 중점적인 관리가 될 필요가 있는 원인이다. 도출한 IPA 영향 분석결과를 Figure 3과 Table 4에 나타내었다.

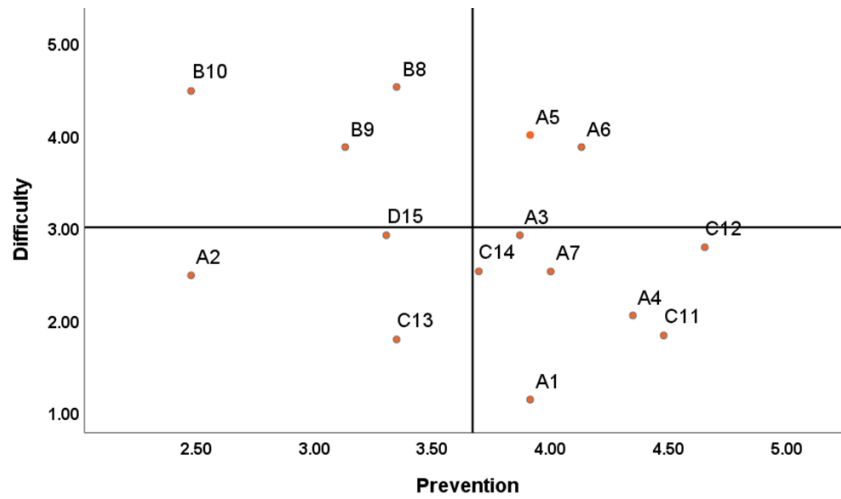


Figure 3. Analysis of the challenges and preventative measures for crack defects

Table 4. Evaluation of data

Tasks	Prevention	Difficulty	Tasks	Prevention	Difficulty	Tasks	Prevention	Difficulty
A1	3.91	1.13	A6	4.13	3.87	C11	4.48	1.83
A2	2.48	2.48	A7	4	2.52	C12	4.65	2.78
A3	3.87	2.91	B8	3.35	4.52	C13	3.35	1.78
A4	4.35	2.04	B9	3.13	3.87	C14	3.7	2.52
A5	3.91	4	B10	2.48	4.48	D15	3.3	2.91

분석된 결과에 기반하여 사분면별로 구분하여 각 원인의 특성과 개선방안을 도출하였다. 첫째로, Figure 4와 같이 나타난 1사분면에 있는 균열하자원인들은 작업난이도와 예방효과가 높아 예방효과는 유지하되, 작업난이도를 낮출 필요성이 요구되는 영역이다. 1사분면에 위치한 작업 중 난이도와 예방효과가 가장 높은 2가지 작업은 다음과 같다.

- 1) 재하·진동 (A5)
- 2) 콜드 조인트 (A6)

재하·진동(A5)관리원인은 시공원인에 해당하는 균열원인으로 타설 시 재료분리 혹은 밀실하게 타설되지 못한경우에 콘크리트에 균열이 발생하기 쉽다. 그러나 과도한 다짐으로 블리딩이 크게 발생하여 강도약화 및 건조수축으로 인한 균열에 주의해야하므로 콘크리트 타설시 균질한 다짐기 사용이 요구된다. 콜드 조인트(A6)의 경우 콘크리트 타설시 정확한 콘크리트 위에 타설할 경우 이음매에서 균열이 발생한다. 이에 이어치는 면에 생기는 레이턴스, 분순물을 제거하여 시공이음의 취약부를 최소화시켜야 한다. 콜드조인트 방지를 위해서는 타설시간의 조절 및 해당작업의 추가적인 인원투입이 필요하므로 작업난이도가 높은편이다. 특히, 교육시설에서 체육관 증축공사 진행 시 기존 구조물과 결합부분에서 많은 하자가 발생하므로 작업자, 관리자, CM들의 집중적인 관리가 필요한 원인들이다.

둘째로, Figure 5와 같이 나타난 2사분면은 균열하자예방효과는 낮으나, 작업난이도가 높기 때문에 관리원인중 가장 비효율적인 작업이다. 따라서 업무 작업 비중을 줄이고 예방효과가 높은 타영역의 원인들에 집중이 필요하다. 2사분면에 해당되는 균열하자원인은 다음과 같다.

- 1) 이상응결성의 시멘트사용 (B8)
- 2) 단위수량이 많은 콘크리트 사용에 의한 침하,블리딩 (B9)



3) 점토분이 많은 골재 사용 등 재료의 사용 (B10)

2사분면에 해당되는 원인(B8), 원인(B9), 원인(B10)은 균열하자원인들 중 재료적 원인에 해당한다. 이는 철근콘크리트 구조물을 구성하는 시멘트, 물, 골재가 해당하며 해당 원인들을 관리하기 위하여 전담 관리직원이 필요하다. 특히, 물과 자주 접하는 급식실에서 균열이 자주 발생하므로 적절한 재료의 선택이 필요하다. 이에 시공사에서는 품질관리직원을 특정하여 해당 직원은 균열에 영향을 미치는 재료적 원인들을 관리하여 균열하자를 예방하도록 한다.

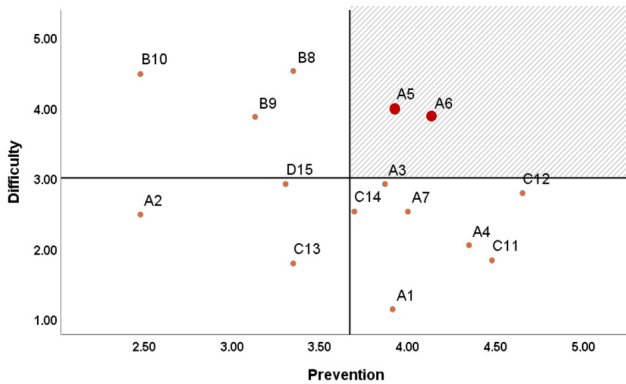


Figure 4. Analysis within the first quadrant

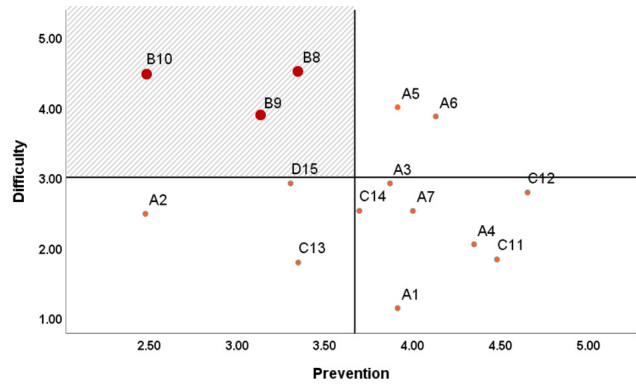


Figure 5. Analysis within the second quadrant analysis

셋째로, Figure 6과 같이 나타난 3사분면에 있는 하자원인의 경우 예방효과가 낮으며 관리의 난이도 역시 낮은 영역에 속한다. 관리적 작업적 난이도는 유지하되 예방효과를 높이는 방향으로 원인들을 관리 및 개선할 필요가 있다. 3사분면에 위치한 관리원인 3가지는 다음과 같다.

- 1) 거푸집의 변형 (A2)
- 2) 과밀배근 (C13)
- 3) 동결융해 (D15)

3사분면에 있는 하자원인의 경우 해당원인으로 인하여 이 원인들은 난이도는 낮으나 설계단계, 시공단계 작업전 관리가 가능한 원인들로 간접적인 하자발생 원인으로 그에따라 상대적으로 예방효과가 낮게 나온 것으로 파악되었다. 해당 하자관리원인들은 육안검사와 Check-List를 통해 관리를 할 수 있는 만큼 정형화된 매뉴얼 활용이 필요하다.

넷째로, Figure 7과 같이 나타난 4사분면에 있는 업무들은 난이도는 낮고, 예방효과는 높은 영역이기에 가장 효율적 영역이다. 4사분면에 위치한 주요 업무는 2가지 유형으로 다음과 같다.

- 1) 급속한 타설(A1)
- 2) 양생불량 (A3)
- 3) 동바리의 조기제거 및 재설치 (A4)
- 4) 철근의 피복두께 부족 (A7)
- 5) 구조계획으로 인한 단면/철근 부족 (C11)
- 6) 단면의 경계부 (C12)
- 7) 극단적 철근량 변화 (C14)

첫 번째 유형은 시공관리적 원인으로 해당원인들은 작업자와 관리자의 지속적인 관리를 통해 균열하자 예방을 할 수 있는 원인들이다. 매뉴얼대로 작업 시 균열하자를 예방할 수 있는 원인들이다. 두 번째 유형으로는 설계단계에서 예방할 수 있는 원인들이다 해당 원인들은 철근 설계시 단면에 철근량이 부족할 경우 균열이 발생하는데 해당 원인들은 설계단계에서 관

리할 수 있는 원인들이기에 작업난이도 낮지만 균열관리 예방에 유의미한 결과를 나타내고 있으므로 현 수준의 상태를 유지가 필요하나 증축, 개축시설 단면부에 대한 하자가 지속적으로 다수 발생하기에 이에 대한 매뉴얼의 강화가 요구된다.

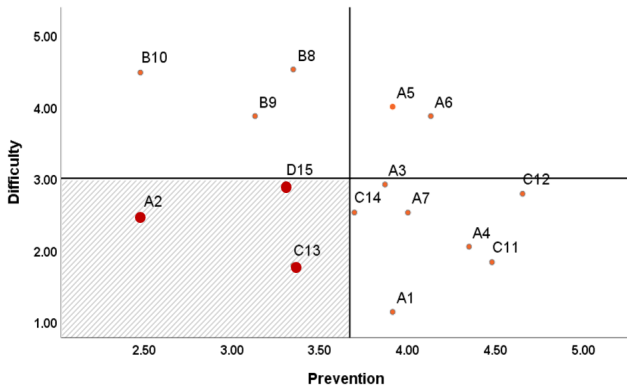


Figure 6. Analysis within the third quadrant analysis

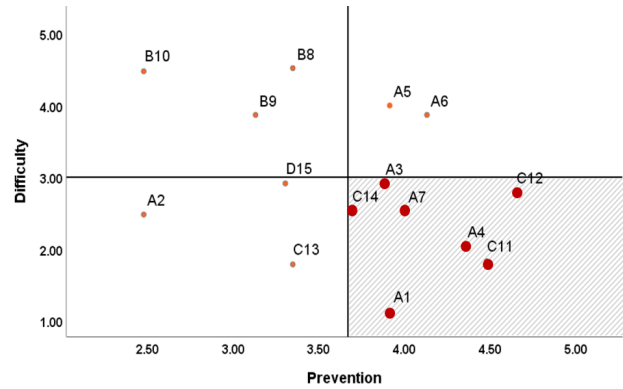


Figure 7. Fourth quadrant analysis

## 6. 결론

균열하자에 관한 2×2 Matrix 분석을 통해 다음과 같은 결과를 도출하였다.

첫째, 1사분면에 있는 균열하자원인들은 작업난이도와 예방효과가 높아 예방효과는 유지하되, 작업난이도를 낮출 필요성이 요구되는 영역이다. 해당 작업은 시공 균열 중에서도 가장 관리하기 어려운 항목으로 작업자들의 지속적인 집중력을 요구하는 작업들이고, 관리자들과 CM들의 집중적인 관리가 필요한 초기발생 균열원인들이다. 추가 관리인원 및 작업자를 투입하여 관리될 수 있도록 현장 관리가 필요하다.

둘째, 2사분면은 균열하자예방효과는 낮으나, 작업난이도가 높기 때문에 관리원인중 가장 비효율적인 작업이다. 따라서 업무 작업 비중을 줄여 다른 영역의 예방효과가 높은 원인들에 집중할 필요가 있다. 전문 품질관리직무의 관리자를 배치하여 전담관리의 필요성이 있으며 해당 인원을 제외한 다른 인원들은 균열예방효과가 높은 다른원인 관리로 배치할 필요성이 있다.

셋째, 3사분면에 있는 하자원인의 경우 난이도가 낮다고 인식되지만 예방효과 또한 낮은 원인들이다. 낮은 관리 난이도이지만 해당 하자원인들을 관리하기 위해 다른 난이도 대비 효과적인 하자원인을 관리하지 못할 가능성이 크다. 관리의 효율성을 높이기 위해 해당 하자원인을 체크할 수 있는 Check-List가 필요하다.

넷째, 4사분면에 있는 업무들은 난이도는 낮게 인식되고, 예방효과는 높은 영역으로 가장 효율적인 영역이다. 4사분면에 위치한 주요 업무는 2가지 유형으로 분류한다. 작업자와 관리자의 지속적인 관리를 통해 균열하자 예방을 할 수 있는 원인들이고, 설계단계에서 관리할 수 있는 원인들이기에 현 수준을 유지하여도 충분하다고 사료된다.

다섯째, 본 연구에서는 설문조사 결과를 바탕으로 각 사분면별로 분석해 균열하자원인들의 작업(관리)의 난이도 및 예방효과를 파악하였고, 관리내용 개선 및 간소화 방안을 제시하였다. 이를 통해 교육시설의 균열하자의 사전예방에 기여할 것으로 판단된다.

본 연구는 2019~2021년 3년간 발생한 교육시설물의 하자데이터에 기반으로 작업자와 시공관리자가 느끼는 작업난이도와 예방효과를 중심으로 분석하였기에 실제 사용자가 느끼는 불편함 및 영향원인을 반영하는 데 한계가 있었다. 추후 교육시설물의 사용자 측면에서의 데이터 수집 및 연구를 실시한다면 시공 시 유의원인의 발견과 유지관리의 개선방안을 도출할 수 있을 것이다. 이를 통해 지속적으로 교육시설물의 데이터를 축적하여 건설과정의 전 단계에서 높은 효율의 업무 진행 및

하자 관리방안을 마련해 하자저감에 기여하고자한다. 더불어 미흡한 단계의 공공시설물의 하자관리에 있어서도 하자저감 및 관리에 기여할 것으로 판단된다.

## 요약

정부는 2007년부터 「국가건축기본계획」, 2014년부터 「건축서비스산업진흥법」 등을 통해 공공건축물의 품질향상을 도모하고 있으나, 이러한 추세에도 불구하고 대규모 아파트 공사에 비해 교육시설의 하자 발생 빈도가 높은 실정이다. 본 연구에서는 IPA분석기법을 응용한 사분면 분석 기법을 이용하여 교육시설에서 발생하는 균열의 주요 원인을 분석하여 이를 바탕으로 효율적인 균열 예측을 제시하고자 한다. 문헌연구를 통해 연구동향을 살펴보고 2019년부터 2021년까지 교육청으로부터 받은 자료를 분석하여 주요 결함을 파악한다. 이후 설문조사와 전문가 자문을 바탕으로 균열 결함 15개 원인을 선정한다. 선정된 15개 원인에 대한 분석 결과를 바탕으로 2×2 Matrix를 활용해 균열 원인에 대한 작업애로 및 예방효과를 파악하고 중점적으로 검토해야 할 원인을 찾아 개선방향을 제시했다. 이러한 결과를 바탕으로 효과적인 교육시설의 균열 예방 및 관리에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

키워드 : 교육시설, 균열 하자, 2×2 매트릭스, 사분면 분석


## Funding


Not applicable


## Acknowledgement


This study was conducted with support of the Korea Research Foundation and funded by the Ministry of Science and Technology Information and Communication in 2022.(NRF-2022R1F1A1069875)

## ORCID

Hyun Jung Park,  <https://orcid.org/0000-0002-2929-4597>

Moon Sik Kim,  <https://orcid.org/0009-0009-7024-8443>

Hyoung Woo Kim,  <https://orcid.org/0009-0007-2600-0200>

Dae Young Kim,  <https://orcid.org/0000-0003-3186-826X>

## References

1. Announcement of the results of basic statistics by the Ministry of Education [Internet]. Sejong (Korea): Ministry of education. 2021 Aug 26. Available from: <https://www.moe.go.kr/boardCnts/viewRenew.do?boardID=294&lev=0&statusYN=W&s=moe&m=020404&opType=N&boardSeq=88238>
2. Results of the National Safety Assessment [Internet]. Sejong (Korea): 2021 National Security Diagnosis: Identified 7,702 Security Risks over 84 Days. 2021 Dec 28. Available from: <https://www.mois.go.kr/frt/bbs/type010/commonSelectBoard>

Article.do?bbsId=BBSMSTR\_000000000008&nttId=89591

3. Ryu JH, Park YG. Analysis on quality defect status in the construction site of domestic educational facilities. *Journal of the Korean Institute of Educational Facilities*. 2008 Jan;15(1):44-52.
4. Lee CK, Choi CH, Park TG. Development of maintenance historical data management system module for effective information exchange between building managers -focusing on public facilities and public educational facilities. *Journal of the architectural institute of Korea Structure & construction*. 2007 Sep;23(9):221-30.
5. Park ON, Kim JG, Lee HR, Oh HR. A study on the future maintenance of educational facilities according to the evaluation of safety inspection. *Journal of the Korean Institute of Educational Facilities*. 2021 Jan;28(1):3-11.
6. Park MK, Choi SH, Heo IW, Kim JH, Lee SH, Kim KS. Experimental study on cracking behavior of ultra-high performance concrete members. *Korea Concrete Institute Academic Conference; 2022 Nov 2-4; Jeju, Korea*. Seoul (Korea): Korea Concrete Institute; 2022. p. 67-8.
7. Kang Thomas HK, Hong SG. Causes and mitigation of concrete cracking. *Magazine of the Korea Concrete Institute*. 2008 Sep 30;20(5):61-8. <https://doi.org/10.22636/MKCI.2008.20.5.61>
8. Nam GS. Fault tree analysis-based risk management of defects in construction [master's thesis]. [Seoul (Korea)]: Hanyang University; 2007. 106 p.
9. Kim JG. Causes of concrete cracks. *Magazine of the Korea Concrete Institute*, 1994 Aug 1;6(4):6-16. <https://doi.org/10.22636/MKCI.1994.6.4.6>
10. Kim KB, Shin DI, Byun HW, Kang MJ, Lee JY. Analysis of the crack angle of shear failure RC beam. *Korea Concrete Institute Academic Conference; 2021 Nov 3-5; Gyeongju, Korea*. Seoul (Korea): Korea Concrete Institute; 2021. p. 187-8.